



Tersedia Secara Online di
<http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>
<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v6i1.4763>

JURMATEKS

Meningkatkan Stabilitas Lereng Berdasarkan Pengujian Karakteristik Tanah

M. S. Kuswiantoro¹, A. I. Candra^{2*}, R. S. Nurhuda³, A. A. Nurrahman⁴, I. Fanani⁵, M. N. Alkamal⁶

^{1,2*,3,4,5,6}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kadiri, Kediri, Indonesia

Email : ¹mahen.kuswiantoro2792@gmail.com, ^{2*}iwan.candra@unik-kediri.ac.id,

³rifqisahrulnurhudatsipilunik@gmail.com, ⁴adiadiadi263@gmail.com,

⁵ilhamfantastick572@gmail.com, ⁶najmuddinkamal89@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 16-06-2023

Artikel revisi : 20-06-2023

Artikel diterima : 25-06-2023

Keywords :

Factor of Safety, Landslide, Slope Stability, Shear Strength.

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

M. S. Kuswiantoro, A. I. Candra, R. S. Nurhuda, A. A. Nurrahman, I. Fanani, and M. N. Alkamal, "Meningkatkan Stabilitas Lereng Berdasarkan Pengujian Karakteristik Tanah," *Jurmateks*, vol.6, no.1, pp. 31-44 2023, doi: 10.30737/jurmateks.v6i1.4763

ABSTRACT

Kediri Regency has diverse potential and wealth, including natural resources, culture, and tourism. One example is the Dolo waterfall located in Jugo Village. In January 2023 there was an avalanche caused by heavy rainfall in the mountainous area of Jugo Village, Mojo District, Kediri. The landslide disrupted road access to tourist attractions, infrastructure and also affected the economy. Several studies have revealed that soil type, shear strength, and soil consistency properties are important in influencing a slope's stability level. However, the discussion of landslide prevention efforts regarding soil and slope characteristics is still limited. This study aims to determine soil type, consistency properties, shear angle, soil cohesion, and slope safety factors in Jugo Village, Mojo District, Kediri Regency. Research begins with a survey and sampling, then testing is carried out in the laboratory and calculated the slope safety factor (F_s). The results revealed that the characteristics of the soil in Jugo Village influenced the landslides that occurred. Both the type of soil, the consistency limit, and the shear strength of the soil indicate that the slope is unstable, this is also indicated by the calculation value of $F_s < 1$. The results of this study can be used as a reference in planning and carrying out slope stability at that location so as to prevent landslides in the future. The effort that can be done is to change the slope to 35° so that the slope becomes stable.

1. Pendahuluan

Kabupaten Kediri dengan kekayaan potensi alam, budaya, dan wisata yang melimpah, menawarkan destinasi wisata yang menakjubkan. Salah satu contohnya adalah wisata alam air terjun Dolo yang terletak di Desa Jugo, Kabupaten Kediri. Air terjun ini terletak di tengah perbukitan dengan ketinggian sekitar 125 meter [1]. Air Terjun Dolo menyajikan keindahan alam dan suasana yang sejuk, menjadikan tempat ini cocok untuk bersantai. Sepanjang perjalanan menuju Air Terjun Dolo, akan disuguhkan pemandangan yang sangat indah dan

memukau. Desa di wilayah Air Terjun Dolo dikelilingi oleh lereng mengingat lokasinya yang berada di pegunungan. Sebagian besar perekonomian warga dipengaruhi oleh sektor pariwisata. Pemukiman warga berjarak 9,1 km dari pintu masuk wisata ini [2].

Pada bulan Januari 2023 terjadi longsor pada daerah ini yang disebabkan oleh curah hujan tinggi. Longsor tersebut terjadi sepanjang lereng tepi jalan yang mengakibatkan tertutupnya akses jalan menuju tempat wisata serta berdampak pada mobilitas masyarakat sekitar [3]. Selain itu, rumah penduduk yang berada di bawah lereng juga mengalami kerusakan akibat terkena material longsor. Jika longsor dengan volume yang lebih besar terjadi di masa depan, dikhawatirkan akan menimbulkan masalah yang lebih serius.

Tanah longsor merupakan bencana alam yang terjadi hampir di seluruh dunia. Tanah Longsor memberikan dampak negatif yang sangat merugikan terhadap berbagai aspek kehidupan [4]–[7]. Bencana ini telah menyebabkan kerusakan infrastruktur hingga korban jiwa [8]. Tak hanya itu, tanah longsor juga berpengaruh terhadap perekonomian. Terbukti telah terjadi kerugian ekonomi setiap tahun [3]. Tanah Longsor dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti gempa bumi, erosi, dan curah hujan yang tinggi [9]–[11]. Dampak tanah longsor yang paling tinggi terjadi di daerah pegunungan pedesaan, dimana upaya pencegahan yang kurang diperhatikan karena jarak yang jauh dari pusat kota [12].

Besarnya volume longsor disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah curah hujan. Air hujan memberikan pengaruh pada berat tanah serta melemahkan kekuatan tanah dengan menurunkan nilai kohesi dan sudut geser tanah [12]. Selain curah hujan, kekuatan tanah juga dipengaruhi oleh kemiringan dan jenis tanah. Kemiringan lereng yang lebih dari 55° dapat memicu terjadinya tanah longsor [13]. Pada kemiringan tersebut, kemampuan tanah untuk menahan gaya geser akan berkurang sehingga menurunkan nilai *Factor of Safety* (Fs). Selain pada kemiringan lebih dari 55° , longsor juga bisa terjadi pada kemiringan $39,35^\circ$ dengan jenis tanah lempung yang tinggi [14]. Sedangkan pada tanah berbutir kasar yang memiliki kandungan lempung rendah dengan jenis *Well Graded Sand* (SW) akan stabil ketika kemiringan kurang dari 45° [6].

Nilai Fs pada lereng tidak hanya dipengaruhi oleh kemiringan dan jenis tanah, tetapi juga dengan kekuatan tanahnya. Kekuatan tanah dapat diketahui dari nilai sudut geser dan kohesi [15],[16]. Dengan nilai sudut geser dan kohesi sebesar $26,23^\circ$ hingga $38,44^\circ$ dan 19,4 hingga 31,5 kPa, tanah *Well Graded Sand* (SW) tidak mampu menahan gaya geser yang menyebabkan terjadinya longsor [13]. Namun pada tanah berbutir kasar yang diperkuat dengan geosintetik, sudut gesernya mencapai $50,9^\circ$ hingga $51,9^\circ$ dan nilai kohesi 0 hingga 13,9 sehingga nilai Fs lebih dari 1 dan menunjukkan tanah memiliki stabilitas lereng yang baik [17]. Sifat

konsistensi tanah juga memainkan peran penting dalam menentukan stabilitas lereng [18]–[20]. Sifat konsistensi dapat ditunjukkan dari nilai plastis indeks suatu tanah. Pada tanah lempung halus yang memiliki nilai plastis indeks 26 hingga 37 dalam kondisi hujan sedang mampu mencapai F_s di bawah 0,3, hal ini mengindikasikan terjadinya longsor [21]. Selain itu, nilai F_s kurang dari 1 juga ditemukan pada tanah lempung berpasir yang memiliki Plastis Indeks 7,81 hingga 24,8 [22]. Beberapa penelitian telah mengungkapkan bahwa jenis tanah, kemiringan lereng, sudut geser, kohesi, dan sifat konsistensi tanah memiliki peran penting dalam mempengaruhi tingkat stabilitas suatu lereng. Namun, belum adanya pengamatan mengenai bagaimana karakteristik tanah daerah Desa Jugo mempengaruhi longsor.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah dan nilai Faktor Keamanan lereng di Lokasi penelitian dengan melakukan pengujian di Laboratorium. Melalui hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam merencanakan serta melakukan stabilitas lereng di lokasi tersebut, sehingga dapat mencegah terjadinya tanah longsor di masa yang akan datang.

2. Metode Penelitian

Penelitian diawali dengan survey lokasi longsor dan pengambilan sampel tanah serta dilakukan pengujian *Sieve shaker*, *Atterberg limit*, dan *Direct Shear Test*. Setelah dilakukan pengujian selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk dihitung Faktor keamanan lerengnya.

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dimensi lereng dilakukan dengan cara survey pengukuran di lokasi penelitian menggunakan alat *theodolite*. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data mengenai jenis tanah batas konsistensi, dan kuat geser tanah melalui beberapa pengujian yang dilakukan di Laboratorium.

2.2 Pengujian Tanah

Pengujian yang dilakukan yaitu *Sieve Shaker*, *Atterberg limit (Liquid Limit, Plastic Limit)*, dan *Direct Shear*.

2.2.1 Gradasi Ayakan

Prosedur pengujian gradasi mengacu pada ASTM C136 [23]. Hasil penimbangan tersebut dibuat grafik hubungan ukuran partikel dan persentase lolos yang akan diperoleh nilai C_u dan C_c .

2.2.2 Atterberg Limit

1. Liquid Limit (LL)

Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan ASTM D 4318 [24]. Hasil uji tersebut dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara kadar air dengan jumlah ketukan untuk didapatkan persamaan guna mencari ketukan ke-25 yang menandakan batas cair dari tanah tersebut.

2. Plastic Limit (PL)

Pengujian plastic limit dilakukan berdasarkan ASTM D 4318 [24]. Nilai plastic limit didapatkan dari rata-rata kadar air pada sampel pengujian.

2.2.3 Direct Shear Test

Prosedur pengujian mengacu pada ASTM D3080 [25]. Sampel tanah yang digunakan sebanyak 12 buah (3 sampel dalam keadaan kadar air tanah asli, 3 sampel di oven selama 1 jam, 3 sampel di oven 2 jam, dan 3 lainnya di oven 18 jam). Kemudian disesuaikan dengan wadah yang berdiameter 6 cm, digunakan 3 sampel dalam tiap pengujianya dengan pembebanan 800, 1595, dan 3163 gram. Pengujian dilakukan menggunakan alat *direct shear test machine*. Hasil pembacaan alat akan dibuat dalam bentuk grafik untuk mengetahui nilai kohesi (c) dan sudut geser (Φ) yang digunakan untuk menentukan stabilitas lereng.

2.3 Pengolahan Data

2.3.1 Gradasi Ayakan

Nilai C_u dan C_c dari pengujian *Sieve Shaker* digunakan sebagai parameter dalam menentukan jenis tanah. Hasil dari pengujian *Sieve Shaker* akan dibuat grafik dan didapatkan nilai C_u dan C_c yang selanjutnya akan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah pada lokasi penelitian berdasarkan klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) [26].

2.3.2 Batas Konsistensi Tanah

Dari pengujian sampel akan diperoleh data LL dan PL tanah. Adapun cara mencari nilai *plasticity index* (PI) dengan mengurangkan nilai LL dan PL [24].

2.3.3 Kuat Geser Tanah

Dari pengujian kuat geser tanah akan didapatkan nilai parameter kuat geser yaitu nilai kohesi c dan sudut geser dalam tanah Φ . Nilai tersebut diperoleh dari data pengujian yang diolah dan didapatkan nilai tegangan normal dengan tegangan geser. Dari data tersebut kemudian akan diolah kembali hingga didapatkan nilai kohesi dan sudut geser [25].

2.3.4 Stabilitas Lereng

Pada perhitungan ini dilakukan analisis berdasarkan Rumus empiris dengan metode Bishop. perhitungan menggunakan metode *bishop* dikarenakan bidang longsoran yang terjadi berbentuk *circular* [26].

3. Hasil dan Diskusi

3.1 JenisTanah Vs Kelongsoran

Tabel 1. Tabel Distribusi Partikel.

Number Sieve	Particle Diameter (mm)	Retained soil (gr)	Percent of Retained (%)	Percent of Passing (%)
		0		100
4	4,750	91	11.19	88,81
10	2,000	274	33.70	55.10
30	0,600	143	17,59	37,52
40	0,425	166	20,42	17,10
80	0,180	82	10.09	7,01
100	0,150	17	2,09	4,92
200	0,075	26	3,20	1,72
Pan		14	1,72	0,00
Total		813	100	

Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Dari **Tabel 1** diketahui bahwa tanah didominasi oleh fraksi pasir yaitu 83,89%, silt 3,20%, kerikil 11,19%, dan clay 1,72%. serta diperoleh nilai C_u dan C_c sebesar 7,119 dan 0,355. Berdasarkan Klasifikasi tanah USCS (lihat **Gambar 1**) maka tanah termasuk *well graded sand* (SW).

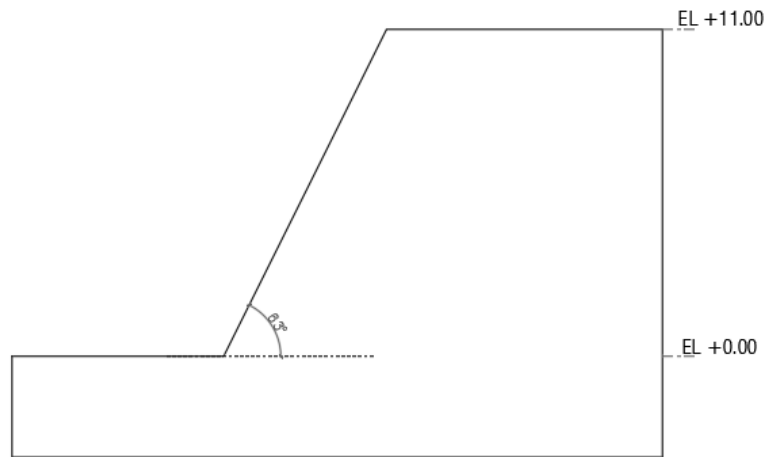
Table 5.2 Unified Soil Classification System (Based on Material Passing 76.2-mm Sieve)

Criteria for assigning group symbols				Group symbol
Coarse-grained soils More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^f$	GW
		Gravels with Fines Less than 5% fines ^e	$C_u < 4$ and/or $C_c < 1$ or $C_c > 3^f$	GP
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands Less than 5% fines	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^f$	SW
		Sands with Fines More than 12% fines ^{g,h}	$C_u < 6$ and/or $C_c < 1$ or $C_c > 3^f$	SP
Fine-grained soils 50% or more passes No. 200 sieve	Sils and clays Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3) ^f $PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) ^f	CL ML
		Organic	Liquid limit—oven dried Liquid limit—not dried	< 0.75; see Figure 5.3; OL zone OL
	Sils and clays Liquid limit 50 or more	Inorganic	PI plots on or above "A" line (Figure 5.3) PI plots below "A" line (Figure 5.3)	CH MH
		Organic	Liquid limit—oven dried Liquid limit—not dried	< 0.75; see Figure 5.3; OH zone OH
	Highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor		Pt

^eGravels with 5 to 12% fine require dual symbols: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^hSands with 5 to 12% fines require dual symbols: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^f $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$
^gIf $4 \leq PI \leq 7$ and plots in the hatched area in Figure 5.3, use dual symbol GC-GM or SC-SM.
^hIf $4 \leq PI \leq 7$ and plots in the hatched area in Figure 5.3, use dual symbol CL-ML.

Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Gambar 1. Tabel Klasifikasi Tanah USCS.



Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Gambar 2. Dimensi Lereng.

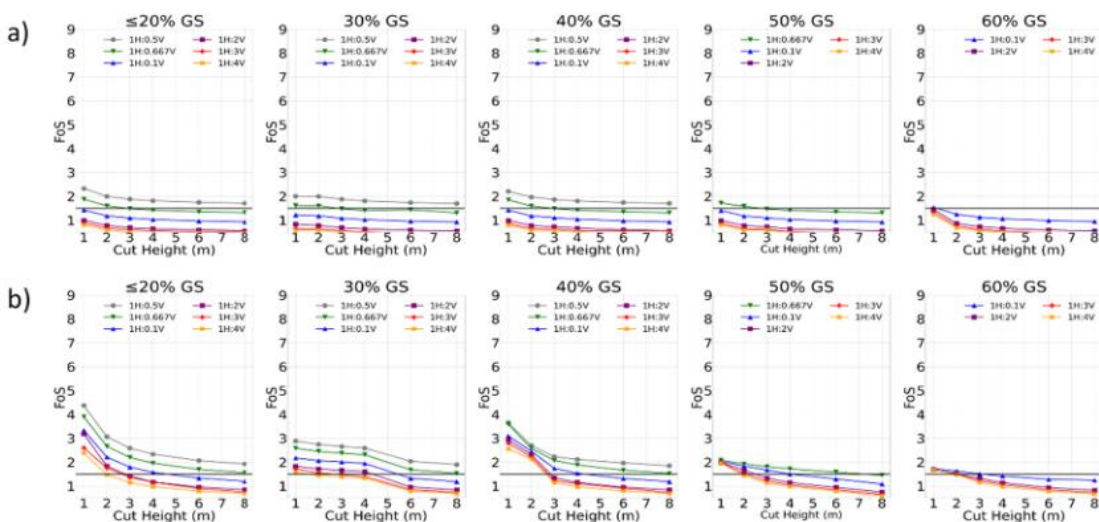
Dari **Gambar 2** lereng mempunyai kemiringan yang curam yaitu 63° yang menunjukkan *Ground Slope* sebesar 50% atau (Horizontal:Vertical, H:V) 1H:2V.

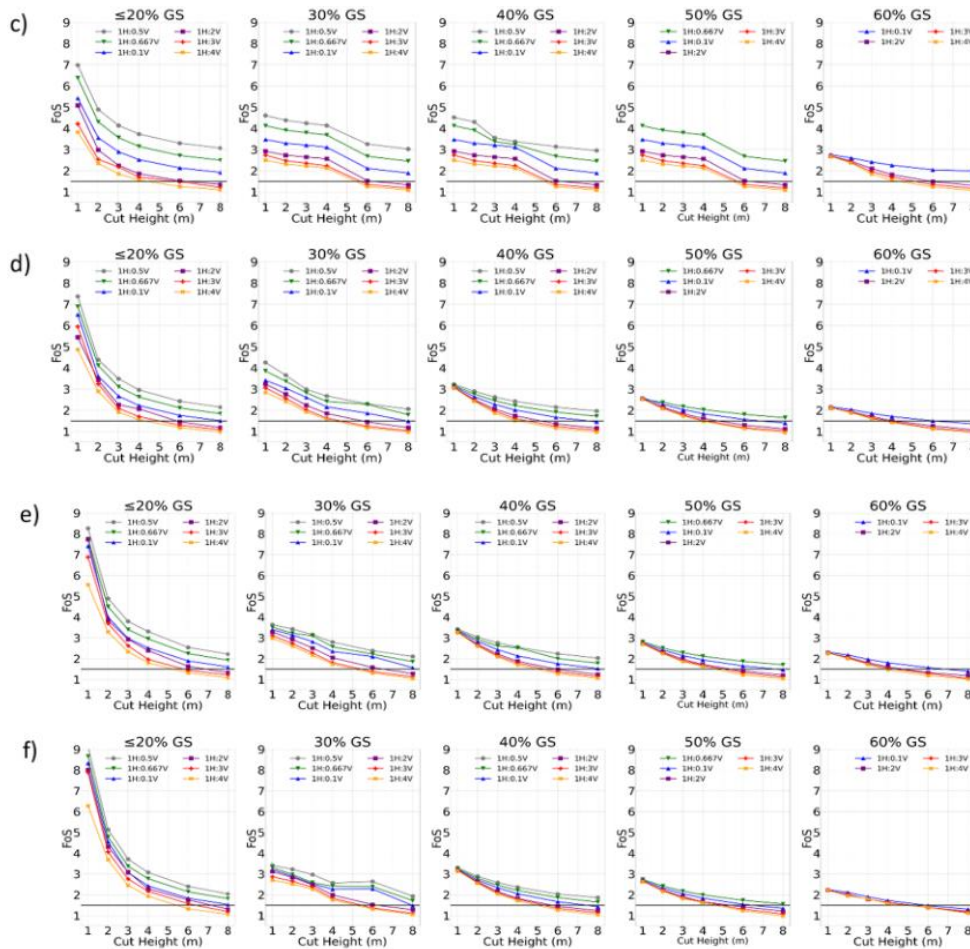
Tabel 2. Material Modeling Information.

Soil type	USCS grouping	Cohesion (kPa)	Friction angle ($^\circ$)	Unit weight, γ (kN/m^3)
Coarse-grained soil	GW, SW, GP, SP	0	37	20
Coarse-grained soil with non-plastic fines	SC, SM-SC, SM, GM	5	34	19.5
Coarse-grained soil with plastic fines	SC, GC	7.5	31	19.5
Silt	ML, MH	16.5	25	17.5
Low plasticity clay	CL	19.5	23	17.5
High plasticity clay	CH	21	18	16

Sumber: Paudyal et al. *Geoenvironmental Disasters* (2023).

Berdasarkan **Tabel 2** Telah dilakukan pengujian dengan menggunakan berbagai jenis tanah yang salah satunya adalah tanah well graded sand (SW) [6].

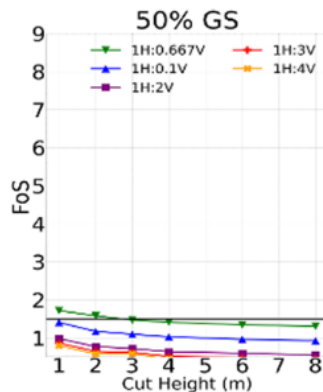




Sumber: Paudyal et al. *Geoenvironmental Disasters* (2023).

Gambar 3. Cut height v/s FoS charts for: (a) coarse-grained soil, (b) coarse-grained soil with non-plastic fines, (c) coarse-grained soil with plastic fines, (d) silt, (e) low plasticity clay, (f) high plasticity clay.

Dari **Gambar 3** berbagai analisis numerik dengan jenis tanah dan kemiringan yang berbeda-beda telah dilakukan. Hasil analisis tersebut diperoleh nilai Fs yang berbeda-beda tergantung dari kemiringan lereng (H:V)[6].



Sumber: Paudyal et al. *Geoenvironmental Disasters* (2023).

Gambar 4. Tabel Tinggi Potong vs Fs (50% GS).

Berdasarkan **Tabel 2** dan **Gambar 4** tanah SW dengan ketinggian 8 meter menunjukkan F_s kurang dari satu, sehingga dapat diprediksi bahwa tanah hasil observasi, dengan ketinggian lereng 11 meter menunjukkan bahwa nilai $F_s < 1$.

3.2 Konsistensi Tanah Vs Kelongsoran

Tabel 3. Plastik Indeks.

PI	Description
0	Nonplastic
1-5	Slightly plastic
5-10	Low Plasticity
10-20	Medium Plasticity
20-40	High Plasticity
>40	Very High Plasticity

Sumber: *Burmister (1949)*.

Tabel 4. Batas Konsistensi Tanah.

Jenis Tanah	Kadar Air	LL (%)	PL (%)	PI
SW	34,48%	45,49	38,30	7,157

Sumber: *Hasil Penelitian (2023)*.

Dari pengujian diperoleh nilai *plastic index* sebesar 7,157, sehingga berdasarkan **Tabel 3** Jenis tersebut termasuk kriteria *low plasticity*.

Tabel 5. *Liquid limit and plasticity index of soil.*

	Sample 4	Sample 13	Sample 21
Location	Betar, Shimultoli	Barnashari, Kaptai	Manikchari, Rangamati Sadar
Soil type	Sand	Silt	Clay
LL (%)	20	22.5	29.7
PL (%)	11.10	14.20	13.30
PI	8.9	15.5	9.2
Comments	Vulnerable for landslide	Highly vulnerable for landslide	Highly vulnerable for landslide

Sumber: *Slope Stability Analysis of the Rangamati District Using Geotechnical and Geochemical Parameters (2021)*.

Berdasarkan **Tabel 5** Tanah memiliki nilai *Plastic Index* yang menunjukkan termasuk *low plasticity*.

Tabel 6. *Factor of Safety Values at Different Water Contents.*

Slope category	Soil condition	SF using Bishop simplified method
Slope 1	15% water	2.03
	> 25% water	0.55
Slope 2	15% water	2.12
	> 25% water	0.57
Slope 3	15% water	1.92
	> 25% water	0.69

Sumber: *Slope Stability Analysis of the Rangamati District Using Geotechnical and Geochemical Parameters (2021)*.

Dari **Tabel 4** kadar air 34,48% dapat diprediksi memiliki nilai $F_s < 1$ dengan mengacu pada **Tabel 6** [27].

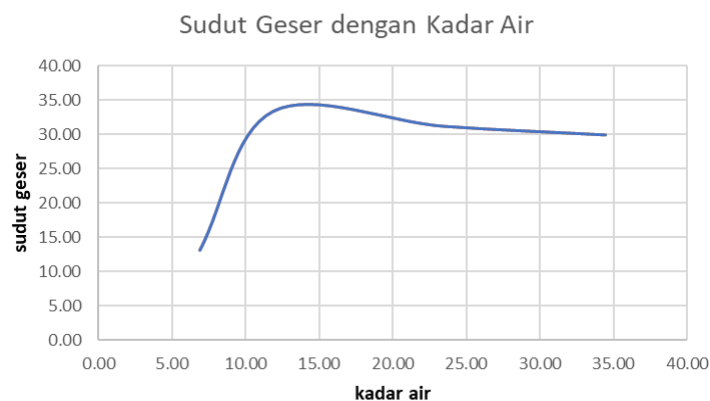
3.3 Kuat Geser Tanah Vs Kelongsoran

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Geser Tanah.

Kadar Air	Nilai Kohesi	Sudut Geser
34,48%	0,604	29,93
23,49%	0,391	31,19
11,87%	0,558	33,38
6,88%	2,430	13,07

Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Dari **Tabel 7** diperoleh nilai kohesi dan sudut geser yang berbeda-beda dimana hal tersebut bergantung pada jumlah kadar air.



Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai Sudut Geser dengan Kadar Air.



Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Kohesi dengan Kadar Air.

Dari **Gambar 5** dan **Gambar 6** tersebut diketahui bahwa nilai sudut geser dan nilai kohesi menurun seiring dengan meningkatnya kadar air dalam tanah.

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Geser Tanah.

Soil type	Water content (%)	Unit weight (KN/m ³)	Cohesion (KPa)	Angle of internal friction (°)
Sand	15	10.5	8.80	43.38
	25	12.8	15.75	35.06
Silt	15	13.7	5.21	57.5
	25	16.3	16.88	31.05
	15	13.8	5.57	75.29
Clay	25	16.4	2.21	32.35

Sumber: Slope Stability Analysis of the Rangamati District Using Geotechnical and Geochemical Parameters (2021).

Tabel 7 menunjukkan nilai sudut geser sebesar 29,93° dengan kadar air 34,48%, diprediksi memiliki nilai $F_s < 1$ berdasarkan **Tabel 8** dan **Tabel 6** [27].

3.4 Stabilitas Lereng

Tabel 9. Hasil Perhitungan Faktor Keamanan Lereng F_s .

F_s	Nilai Kohesi	Sudut Geser
0,62	0,604	29,93
0,64	0,391	31,19
0,7	0,558	33,38
0,31	2,430	13,07

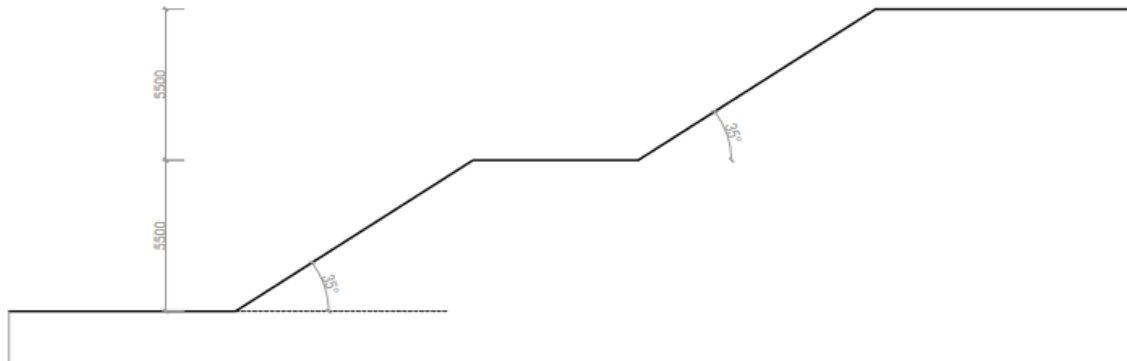
Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Dari semua hasil perhitungan F_s diketahui bahwa kondisi lereng tidak stabil, karena nilai $F_s < 1$. Hal yang sama juga dapat diketahui pada tanah dengan nilai kohesi 0 dan sudut geser 37° memiliki nilai $F_s < 1$. (lihat **Tabel 3** dan **Gambar 4**)[6]. Selain itu, pada tanah dengan nilai sudut geser 35,06 nilai F_s nya adalah 0,55 (Lihat **Tabel 6** dan **Tabel 8**)[27], pada tanah SW yang memiliki ketinggian 8 meter menunjukkan nilai $F_s < 1$ [6], sehingga menandakan bahwa lereng pada lokasi penelitian kurang stabil dan mengindikasikan terjadi kelongsoran.

3.5 Upaya Perbaikan Lereng

Geometri lereng memainkan peran penting dalam stabilitas lereng. Kemiringan lereng yang curam menjadi salah satu faktor penyebab kegagalan lereng [13]. Pada tanah berbutir kasar kemiringan yang stabil hanya pada sudut yang lebih kecil dari 45° [7]. Hal yang sama juga terjadi pada tanah SW dengan kemiringan 63° mempunyai nilai Faktor keamanan lereng < 1 [6]. Sehingga upaya yang paling tepat dalam menstabilkan lereng adalah dengan merubah

kemiringan menjadi 0,5V:1H. Dengan tingkat kemiringan tersebut, dapat meningkatkan F_s hingga lebih dari 1,5 [6].



Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Gambar 7. Kemiringan Lereng 35°.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Faktor Keamanan Lereng F_s pada kemiringan 35°.

F_s	Nilai Kohesi	Sudut Geser
1,71	0,604	29,93
1,79	0,391	31,19
1.95	0,558	33,38
0,78	2,430	13,07

Sumber: Hasil Penelitian (2023).

Dari **Gambar 7** dan **Tabel 10** diketahui bahwa dengan kemiringan lereng 35° nilai F_s mampu mencapai lebih dari 1, sehingga lereng lebih tahan terhadap longsor.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian mengungkapkan bahwa karakteristik tanah di Desa Jugo mempengaruhi longsor yang terjadi. Baik dari jenis tanah, batas konsistensi, dan kuat geser tanah menunjukkan bahwa lereng tidak stabil, hal tersebut ditunjukkan dengan perolehan nilai perhitungan $F_s < 1$. Upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah kemiringan lereng menjadi 35° sehingga lereng menjadi stabil. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam merencanakan serta melakukan stabilitas lereng di lokasi tersebut, sehingga dapat mencegah terjadinya tanah longsor di masa yang akan datang.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih untuk rekan-rekan mahasiswa dan dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Kadiri yang telah banyak membantu pelaksanaan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] KSM Tour, “Air Terjun Dolo Pemandangan Memikat di Kediri Jawa Timur,” *KSM Tour*. <https://ksmtour.com/informasi/tempat-wisata/jawa-timur/air-terjun-dolo-pemandangan-memikat-di-kediri-jawa-timur.html> (accessed Apr. 27, 2023).
- [2] Google Maps, “Air Terjun Dolo.” <https://www.google.com/maps/place/Air+Terjun+Dolo/@-7.8703753,111.8327569,17z/> (accessed Apr. 27, 2023).
- [3] Y. Wu, Y. Ke, Z. Chen, S. Liang, H. Zhao, and H. Hong, “Application of alternating decision tree with AdaBoost and bagging ensembles for landslide susceptibility mapping,” *Catena*, vol. 187, no. October 2019, p. 104396, 2020, doi: 10.1016/j.catena.2019.104396.
- [4] X. Jiang, W. Liu, H. Yang, Z. Li, W. Fan, and F. Wang, “A 3D Model Applied to Analyze the Mechanical Characteristic of Living Stump Slope with Different Tap Root Lengths,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 3, 2023, doi: 10.3390/app13031978.
- [5] L. Y. Xu, J. M. Pan, Y. Y. Xue, and F. Cai, “A numerical investigation of influence of low-plasticity fines in sand on lateral response of piles,” *Mar. Georesources Geotechnol.*, vol. 38, no. 3, pp. 302–311, 2020, doi: 10.1080/1064119X.2019.1569740.
- [6] P. Paudyal, P. Dahal, P. Bhandari, and B. K. Dahal, “Sustainable rural infrastructure: guidelines for roadside slope excavation,” *Geoenvironmental Disasters*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s40677-023-00240-x.
- [7] S. Patel, C. H. Solanki, K. R. Reddy, and S. K. Shukla, *Lecture Notes in Civil Engineering Satyajit Patel of the Indian Geotechnical Conference 2019*, vol. III. 2019.
- [8] K. Zhang, S. Wang, H. Bao, and X. Zhao, “Characteristics and influencing factors of rainfall-induced landslide and debris flow hazards in Shaanxi Province, China,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 93–105, 2019, doi: 10.5194/nhess-19-93-2019.
- [9] M. T. T. Cho, A. Chueasamat, T. Hori, H. Saito, and Y. Kohgo, “Effectiveness of filter gabions against slope failure due to heavy rainfall,” *Soils Found.*, vol. 61, no. 2, pp. 480–495, 2021, doi: 10.1016/j.sandf.2021.01.010.
- [10] M. Kiernan, M. Xuan, J. Montgomery, and J. B. Anderson, “Integrated Characterization and Analysis of a Slow-Moving Landslide Using Geotechnical and Geophysical Methods,” *Geosci.*, vol. 12, no. 11, pp. 1–18, 2022, doi: 10.3390/geosciences12110404.

- [11] M. L. Istiyanti and S. Goto, "Characteristics of physical properties of the sliding and its surrounding layers in landslides caused by the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake," *Geoenvironmental Disasters*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.1186/s40677-022-00223-4.
- [12] C. Zhou *et al.*, "Landslide characterization applying sentinel-1 images and insar technique: The muyubao landslide in the three gorges reservoir area, China," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 20, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/rs12203385.
- [13] G. C. Komadja *et al.*, "Geotechnical and geological investigation of slope stability of a section of road cut debris-slopes along NH-7, Uttarakhand, India," *Results Eng.*, vol. 10, no. April, 2021, doi: 10.1016/j.rineng.2021.100227.
- [14] Y. Wang, J. Li, Q. Jiang, Y. Huang, and X. Li, "Experimental Study on Variation Law and Mechanism of Soil Shear Strength Parameters along the Slope," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/3586054.
- [15] O. Igwe and C. Chukwu, "Slope stability analysis of mine waste dumps at a mine site in Southeastern Nigeria," *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol. 78, no. 4, pp. 2503–2517, 2019, doi: 10.1007/s10064-018-1304-8.
- [16] Z. Anis, G. Wissem, H. Riheb, P. Biswajeet, and G. Mohamed Essghaier, "Effects of clay properties in the landslides genesis in flysch massif: Case study of Aïn Drahem, North Western Tunisia," *J. African Earth Sci.*, vol. 151, pp. 146–152, 2019, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2018.12.005.
- [17] D. J. U. Infante, G. M. A. Martinez, P. A. Arrua, and M. Eberhardt, "Shear Strength Behavior of Different Geosynthetic Reinforced Soil Structure from Direct Shear Test," *Int. J. Geosynth. Gr. Eng.*, vol. 2, no. 2, 2016, doi: 10.1007/s40891-016-0058-2.
- [18] D. Gribulis, K. Dundulis, S. Gadeikis, and S. Gadeikienė, "Undrained shear strength of glacial till soils and its determining factors," *Baltica*, vol. 34, no. 2, pp. 246–252, 2021, doi: 10.5200/baltica.2021.2.8.
- [19] S. Wang, R. Luna, and J. Yang, "Effect of Plasticity on Shear Behavior of Low-Plasticity Fine-Grained Soil," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 29, no. 3, pp. 2–8, 2017, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001751.
- [20] A. Chegenizadeh, M. Keramatikerman, and H. Nikraz, "Liquefaction resistance of fibre reinforced low-plasticity silt," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 104, no. September 2016, pp. 372–377, 2018, doi: 10.1016/j.soildyn.2017.11.004.

- [21] F. Sengani and F. Mulenga, "Influence of rainfall intensity on the stability of unsaturated soil slope: Case study of r523 road in thulamela municipality, limpopo province, south africa," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 24, pp. 1–32, 2020, doi: 10.3390/app10248824.
- [22] M. Lalitha *et al.*, "Evaluating pedogenesis and soil Atterberg limits for inducing landslides in the Western Ghats, Idukki District of Kerala, South India," *Nat. Hazards*, vol. 106, no. 1, pp. 487–507, 2021, doi: 10.1007/s11069-020-04472-0.
- [23] ASTM C136, "ASTM C136/C136M Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates," *ASTM Stand. B.*, pp. 3–7, 2019.
- [24] ASTM, "D4318 - 00: Standards,for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils This c of soils, ASTM D 4318-00," *ASTM Int.*, vol. 04, pp. 1–14, 2000.
- [25] ASTM D3080, "ASTM D 3080 - 03 Direct Shear Test of Soilds Under Consolidated Drained Conditions," *ASTM Int.*, vol. 04, p. 7, 2003.
- [26] Das, "Principles of Geotechnical Engineering," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [27] S. Islam, A. Begum, and M. Hasan, "Slope stability analysis of the Rangamati District using geotechnical and geochemical parameters," *Nat. Hazards*, no. 0123456789, 2021, doi: 10.1007/s11069-021-04750-5.